

知覚-運動系におけるベイズ統合の神経機序
The neural mechanism of Bayesian integration
in the perceptuo-motor system

宮崎 真 (MIYAZAKI Makoto)
山口大学・時間学研究所・教授



研究の概要

我々の身体は内的・外的変動に曝されながらも精緻で安定した知覚-行動を生成している。近年、心理物理学的研究により、我々の中枢神経系がベイズ統合と呼ばれる方略を用いて、それら変動の影響を最小化していることが示されてきた。本研究は、そのベイズ統合が如何なる神経機序により成立しているのかを心理物理学的手法と神経生理学的測定法を用いて探求している。

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：健康・スポーツ科学 - 身体教育学

キーワード：脳高次機能学

1. 研究開始当初の背景

我々の身体は、内的にも外的にも変動に満ちた環境にありながら精緻で安定した知覚-行動を実現している。ヒトの中枢神経系がそれをどのように実現しているのか？この問題は、スポーツ科学・身体教育学をはじめ人間科学諸領域の重要問題の一つに挙げられる。

理論上、課題標的に関する事前分布を獲得し、それをベイズ則に基づき感覚情報と統合(ベイズ統合)することにより、変動の影響を最小とする最適推定を得ることができる。最近、代表者自身の成果も含めた心理物理学的研究によって、ヒトの中枢神経系が実際にそのベイズ統合を用いていることが空間的到達課題¹、力量調整課題²、そしてタイミング課題³および体性感覚の時間順序判断⁴で確認されてきた。

2. 研究の目的

上述の心理物理学的研究により、ベイズ統合の作用する知覚-運動課題がスキルの基本要素⁵を網羅するに至り、ベイズ統合がヒトの知覚-運動系における基本原理の一つであることが示された。しかし、それがヒトの中枢神経系においてどのように実現されているかは明らかとなっていない。

本研究は、心理物理学的手法と神経生理学的測定(fMRI、EEG、TMS、反射測定)を組み合わせ、そのベイズ統合が如何なる神経機序によって成立しているのかを解明していくことを目的とする。

3. 研究の方法

◇心理物理学的研究

本研究推進のための指針・基盤となる心理物理学の知見の拡充と神経生理学的測定中に被験者の行う課題の開発/洗練を目的とする。

◇神経生理学的研究

以下の測定法を段階的・相補的に実施し、ベイズ統合に関与する脳部位およびベイズ統合が成立していくプロセスを特定していく。

① 機能的磁気共鳴画像 (fMRI)

ベイズ統合に関連する脳部位の特定

② 脳波 (EEG)

関連脳部位の活動時間帯/順序の特定

③ 経頭蓋磁気刺激 (TMS)

関連脳部位の課題遂行との因果関係の検証と役割の同定

④ 反射測定

脳活動と行動をつなぐ下位中枢神経系の関与の可能性の検証

4. これまでの成果

◇心理物理学的研究

1. 皮膚兔と呼ばれる“体性”錯覚作用が手にした物体の感触にも生じることを発見⁵⁾

2. 眼球運動および視覚刺激の空間的位置を手がかりにすることにより複数の事前分布の同時獲得が可能となることを発見³⁾

3. 視-聴覚の時間順序判断でもベイズ統合モデルの予見と一致する応答変化を観測^{2), 7)}

1は皮膚兔錯覚のベイズモデル⁶⁾の検証を進めているなかで発見された。この知見は、脳

における“道具の身体化”を顕在知覚現象として観測した成果となり、使い易い道具や義肢の開発・評価への寄与も期待される。2は複数の事前分布の獲得を可能とする条件を世界に先駆けて特定したものである。そして、3により時間順序判断におけるベイズ統合の広汎性が示された。

◇神経生理学的研究

現在までに、体性感覚の時間順序判断を遂行中の被験者を対象とした測定により以下の知見が得られている。

① fMRI¹⁾

本研究の心理物理学的測定によって時間順序判断におけるベイズ統合の広汎性を確認^{2),7)}した一方で、ベイズ統合が作用しない課題が存在することも発見した。即ち、その課題を統制条件とし、時間順序判断中の脳活動から統制課題中の脳活動を差し引くことにより、ベイズ統合への関与が仮定される脳部位を特定することができる。16名の被験者を対象とした測定の結果、両側の背側運動前野(PMd)と視床、左の腹側運動前野(PMv)と後頭頂野(PPC)の活動が認められた。また多重比較の補正を課さない場合、左の島皮質前部および右の小脳の活動も認められた。

② EEG

時間順序判断を行っている被験者(14名)からEEGを測定。刺激時間差は左手先/右手先に偏向(±80ms)した事前分布からサンプルした。ERPの全被験平均についてsLORETAによる活動源推定を行った結果、次のような脳活動の遷移が認められた：

- (1) 刺激提示後80ms付近でPMdが活動
- (2) 刺激提示後140ms付近で一次体性感覚野が活動
- (3) (2)とほぼ同時に左PPCが活動しはじめ、刺激提示後200ms付近まで活動が持続

③ TMS

上述の①fMRIにより特定された関連脳部位候補と②EEGから推定された各脳部位の活動時間帯に基づき、時間順序判断を遂行中の被験者にTMSを施し、ベイズ統合による心理物理関数のシフト量に影響する脳部位の特定を進めている。また、これに先立つ準備的研究として、典型パターンにバイアスされ、ベイズ統合との機能的類似性が想定される神経心理課題について、典型応答の抑制を担う部位を同定した^{4),6)}。

REFERENCE

1. Körding & Wolpert (2004) *Nature*
2. Körding et al. (2004) *J Neurophysiol*
3. Miyazaki et al. (2005) *J Neurophysiol*
4. Miyazaki et al. (2006) *Nature Neurosci*
5. 大築(1988)「たくみ」の科学
6. Goldreich (2007) *PLoS One*

5. 今後の計画

今後の重点課題として、fMRIで特定された関連脳部位候補を対象としたTMS実験の拡充があげられる。この作業によりベイズ統合に関連する各脳部位の役割が同定され、ベイズ統合が成立していくプロセスが明らかにされていくことが期待される。また平成24年度から、反射測定による下位中枢神経系のベイズ統合への関与の検証を開始する。そして、心理物理学的知見の更なる拡充と、これまで得られた心理物理学的成果に基づく次なるfMRIおよびEEG測定も順次実施していきたい。

6. これまでの発表論文等(受賞等も含む)

◇受賞

平成23年度文部科学大臣表彰若手科学者賞(身体知覚の時空間的適応性の研究)

◇主要論文

- 1) Miyazaki M, Kadota H, Matsuzaki K, Takeuchi S, Sekiguchi H, Kochiyama T. (投稿中).
- 2) Yamamoto S, Miyazaki M, Iwano T, Kitazawa S. Bayesian calibration of simultaneity in audiovisual temporal order judgment. *PLoS One* (改訂中).
- 3) Nagai Y, Suzuki M, Miyazaki M, Kitazawa S. Acquisition of multiple prior distributions in tactile temporal order judgment. *Front Psychology* (近刊).
- 4) Kudo K, Miyazaki M, (他6名). Neurophysiological and dynamical control principles underlying variable and stereotyped movement patterns in the process of motor skill acquisition. *J Adv Comp Intellig & Intellig Informatics* 15(8): 942-953, 2011.
- 5) Miyazaki M, Hirashima M, Nozaki D. The “cutaneous rabbit” hopping out of the body. *J Neurosci* 30(5):1856-1860, 2010.
- 6) Kadota H, Sekiguchi H, Takeuchi S, Miyazaki M, (他2名). The role of the dorsolateral prefrontal cortex in the inhibition of stereotyped responses. *Exp Brain Res* 203:593-600, 2010.
- 7) 山本慎也, 宮崎真, 北澤茂. 事前確率に基づく多感覚統合. 信学技報 HIP2009-99(2009-12): 19-23, 2009.

ホームページ等

http://www.rits.yamaguchi-u.ac.jp/?page_id=43

<http://researchmap.jp/miyazakimakoto/>